


 ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2012105166/07**, **14.02.2012**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**14.02.2012**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **14.02.2012**(45) Опубликовано: **20.02.2013** Бюл. № 5(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **EP 0383662 A1**, **22.08.1990**. **SU 1824652 A1**, **30.06.1993**. **SU 435717 A1**, **30.01.1979**. **US 5114663 A**, **19.05.1992**.

Адрес для переписки:

**620002, г.Екатеринбург, УрФУ, центр интеллектуальной собственности, Т.В. Маркс**

(72) Автор(ы):

**Шипицын Виктор Васильевич (RU),  
Черных Илья Викторович (RU),  
Бродов Юрий Миронович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" (RU)****(54) УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ**

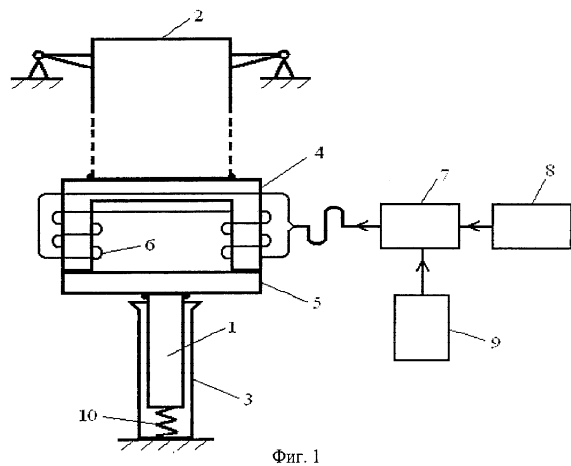
(57) Реферат:

Предлагаемое изобретение относится к системам защиты и диагностики ядерного реактора на быстрых нейтронах АЭС. Устройство защиты ядерного реактора содержит измерители и датчики режимов работы АЭС и системы управления защиты, стержень аварийной защиты для гашения цепной реакции при авариях различного вида, механически соединенный с поворотной пробкой крышки корпуса реактора механизм горизонтального и вертикального перемещения и расположенные на дне корпуса реактора направляющие элементы в виде посадочного гнезда для беспрепятственного перемещения вниз стержня аварийной защиты. Устройство также содержит магнитопровод, якорь и катушку магнитопровода, коммутационный аппарат с приводом, источник питания, блок управления

коммутационным аппаратом и демпферную пружину, при этом магнитопровод с катушкой жестко соединен с механизмом горизонтального и вертикального перемещения, якорь магнитопровода жестко соединен с головкой стержня аварийной защиты, посадочное гнездо жестко соединено с нижней частью корпуса ядерного реактора. Магнитопровод и якорь магнитопровода выполнены из магнитного материала с регулируемой за счет химического состава температурой Кюри. Во втором варианте исполнения устройство защиты содержит ускоряющую пружину, которая в ждущем режиме находится в сжатом состоянии между магнитопроводом и якорем магнитопровода. Технический результат предлагаемого изобретения - повышение надежности АЭС. 1 з.п. ф-лы, 4 ил.

RU 2 475 871 C1

RU 2 475 871 C1



Фиг. 1

RU 2 4 7 5 8 7 1 C 1

RU 2 4 7 5 8 7 1 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2012105166/07, 14.02.2012**(24) Effective date for property rights:  
**14.02.2012**

Priority:

(22) Date of filing: **14.02.2012**(45) Date of publication: **20.02.2013 Bull. 5**

Mail address:

**620002, g.Ekaterinburg, UrFU, tsentr  
intellektual'noj sobstvennosti, T.V. Marks**

(72) Inventor(s):

**Shipitsyn Viktor Vasil'evich (RU),  
Chernykh Il'ja Viktorovich (RU),  
Brodov Jurij Mironovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovaniya "Ural'skij  
federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta  
Rossii B.N. El'tsina" (RU)****(54) PROTECTIVE DEVICE OF FAST-NEUTRON NUCLEAR REACTOR**

(57) Abstract:

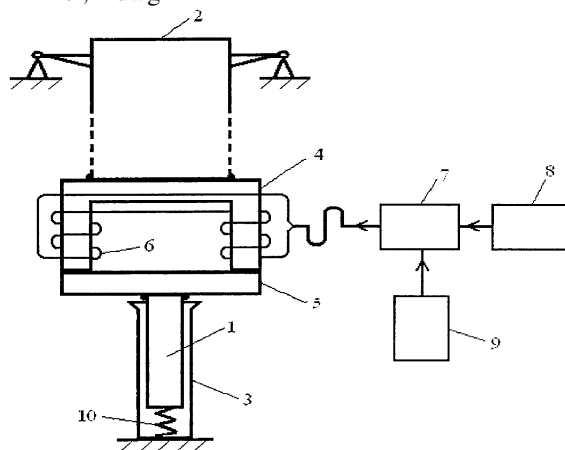
FIELD: power industry.

SUBSTANCE: protective device of nuclear reactor includes measuring devices and sensors of NPP operating modes and protection control systems, emergency protection bar for suppression of a chain reaction at emergencies of different kinds, mechanism of horizontal and vertical displacement, which is mechanically connected to a swivel plug of the reactor housing roof, and guide elements located at the reactor housing bottom in the form of a mounting seat for unobstructed movement in downward direction of emergency protection bar. Device also includes magnetic conductor, armature and coil of magnetic conductor, switching device with a drive, power supply, control unit of switching device and damper spring; at that, magnetic conductor with coil is rigidly connected to mechanism of horizontal and vertical displacement, armature of magnetic conductor is rigidly connected to a head of emergency protection bar; mounting seat is rigidly connected to lower part of nuclear reactor

housing. Magnetic conductor and armature of magnetic conductor are made from magnetic material with Curie temperature controlled due to chemical composition. The second version of protection device design includes an accelerating spring that is compressed between magnetic conductor and armature of magnetic conductor in a standby mode.

EFFECT: improving NPP reliability.

2 cl, 4 dwg



Фиг. 1

Предлагаемое изобретение относится к оборудованию системы защиты и диагностики ядерного реактора на быстрых нейтронах на атомных электростанциях - АЭС. Технический результат предлагаемого изобретения заключается в увеличении надежности АЭС.

Известно, что надежная работа АЭС имеет большое значение для успешного развития атомной электроэнергетики. Известно также, что безопасность реактора на быстрых нейтронах, например типа БН-600, основана на многократном дублировании и резервировании систем, важных для управления и обеспечения безопасности реактора и энергоблока в целом. См. Приложение 1, Л. 1, Белоярская АЭС. 624250, Россия, Свердловская обл., г. Заречный, Белоярская АЭС, стр. 26, 27. Поэтому в технической литературе уделяется большое внимание вопросам надежности и защиты АЭС от аварий, в том числе и в упомянутой ниже литературе.

Л. 2. Усынин Г.Б., Кусмарцев Е.В. Реакторы на быстрых нейтронах / Под общей редакцией чл. - кор. АН СССР Ф.М.Митенкова. - М.: Энергоатомиздат, 1985.

Л. 3. Шейнкман А.Г. и др. Развитие систем диагностики процессов и оборудования энергоблока с реактором БН-600. Российская Академия наук. Уральское отделение. Екатеринбург, 1994.

Л. 4. Плютинский В.И., Погорелов В.И. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок АЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

Л. 5. Самойлов О.Б. и др. Безопасность ядерных энергетических установок. - М.: Энергоатомиздат, 1989.

Л. 6. Юркевич Г.П. Системы управления энергетическими реакторами. - М.: Издательство ЭЛЕКС-КМ, 2001.

Л. 7. Гидродинамика и безопасность ЯЭУ. Сборник трудов ФЭИ. В трех томах. Том 2. Обнинск: ГНЦ РФ ФЭИ, 1999.

Л. 8. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.1 Общие вопросы. Электротехнические материалы/ Под общей редакцией профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. - 9-е изд., стер. - М.: Издательство МЭИ, 2003. Патенты РФ на изобретение №1572303 и №2260211.

Во всех упомянутых изданиях существенная часть их объема посвящена вопросам безопасности и устройств безопасности и защиты от аварий АЭС.

Все устройства защиты в упомянутой литературе можно рассматривать как аналоги предлагаемому изобретению. См. Приложение 2, Л.2, стр. 165, где показаны рабочие органы системы управления защиты - СУЗ, в том числе стержни АЗ, т.е. стержни аварийной защиты.

Во всех этих источниках говорится о достаточно сложных механизмах, которые должны переместить защитные стержни в крайнее нижнее положение для гашения цепной реакции при аварии. Эти механизмы могут также отказать. Кроме того, может исчезнуть электроснабжение собственных нужд. Обе эти причины могут привести к тому, что защитные стержни при возникновении аварий не будут опущены в нижнее положение, поэтому не произойдет гашение цепной реакции и может возникнуть тяжелая авария или взрыв.

Возможность подобного развития событий подтверждается в Приложении 3, Л.2, стр.186, 188, где перечисляется большое количество аварийных ситуаций. Во всей упомянутой литературе система устройств защит - СУЗ строится примерно по одному типу: при отклонениях от нормальных режимов тех или иных блоков АЭС приходят сигналы от многочисленных измерителей и датчиков, и, если эти сигналы выше нормированных значений, срабатывают устройства защиты, при этом главным

устройством защиты, которое предотвращает взрыв АЭС, является устройство перемещения стержня аварийной защиты в активную зону реактора, что должно предотвратить цепную реакцию в активной зоне реактора. Однако известные датчики и известные устройства защиты также могут отказаться. Поэтому они в полной мере не могут обеспечить достижение заявленного технического результата, т.е. повысить надежность АЭС.

В качестве прототипа выбрано устройство системы управления защиты - СУЗ, Приложение 4, Л.3, стр.46, рис.21. СУЗ содержит механизм горизонтального и вертикального перемещения и состоит из редукторов, зубчатых колес и реек, при этом к нижней части СУЗ подсоединен исполнительный орган - стержень. Эта СУЗ также имеет сложную конструкцию и также может отказаться при поступлении аварийного сигнала. Также смогут отказаться и датчики аварийных сигналов. Также может отказаться и электроснабжение собственных нужд реактора. Поэтому и аналоги, и прототип при их осуществлении не обеспечивают достижения заявленного технического результата, заключающегося в увеличении надежности АЭС.

Предлагаемое изобретение решает задачу создания устройства защиты ядерного реактора на быстрых нейтронах, что позволяет достичь заявленного технического результата, заключающегося в увеличении надежности АЭС.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что в СУЗ ядерного реактора на быстрых нейтронах АЭС, имеющей все необходимые известные измерители и датчики режимов работы АЭС и системы управления защит - СУЗ, а также, по крайней мере, один стержень аварийной защиты для гашения цепной реакции при авариях различного вида, по крайней мере один механически соединенный с поворотной пробкой крышки корпуса реактора механизм горизонтального и вертикального перемещения и расположенные на дне корпуса реактора направляющие элементы в виде посадочного гнезда для беспрепятственного перемещения вниз стержня аварийной защиты при возникновении аварии, введены магнитопровод, якорь магнитопровода, катушка магнитопровода, коммутационный аппарат с приводом, источник питания, блок управления коммутационным аппаратом и демпферная пружина, при этом магнитопровод с катушкой жестко соединен с нижней частью механизма горизонтального и вертикального перемещения, якорь магнитопровода жестко соединен с головкой стержня аварийной защиты, входные выводы катушки магнитопровода с помощью гибкого кабеля подсоединены к выходным выводам коммутационного аппарата, входные выводы которого подсоединены к выходным выводам источника питания, а входные выводы привода коммутационного аппарата соединены с выходными выводами блока управления коммутационным аппаратом, при этом демпферная пружина жестко соединена с дном посадочного гнезда, а магнитопровод и якорь магнитопровода выполнены из магнитного материала с регулируемой температурой Кюри.

Сущность предлагаемого второго варианта изобретения заключается в том, что дополнительно введена ускоряющая пружина, первый конец которой жестко соединен с магнитопроводом, а второй конец в рабочем режиме реактора, когда устройство защиты находится в ждущем состоянии, упирается в якорь магнитопровода.

Заявленный технический результат - увеличение надежности АЭС - достигается следующим образом.

При возникновении аварийной ситуации процессы защиты могут протекать по двум путям.

Первый путь. Работают все известные традиционные датчики аварийных режимов,

и происходит запланированное отключение аварийных режимов.

Второй путь. Все датчики функционируют, отказали механизмы перемещения аварийных защитных стержней. В этом случае, если исчезло электроснабжение собственных нужд, исчезает питание электромагнита, исчезает его тяговая сила и якорь вместе со стержнем аварийной защиты под действием собственного веса перемещается вниз и предотвращает цепную реакцию. Если электроснабжение собственных нужд остается исправным, температура быстро поднимается до 500°C и выше (в Приложении 5, Л. 2 на стр. 178 отмечается, что в аварийной ситуации температура охлаждающего натрия на выходе из ТВС - тепловыделяющего стержня за 0,4 секунды может достичь 800°C), магнитопровод и якорь разогреваются, их магнитная проницаемость резко уменьшается, тяговая сила электромагнита также резко уменьшается и якорь магнитопровода вместе со стержнем аварийной защиты под действием собственного веса также перемещается вниз и также предотвращает цепную реакцию. При исполнении предлагаемого устройства защиты по второму варианту при нагреве магнитопровода и якоря магнитопровода до 500°C и выше тяговая сила электромагнита также резко уменьшается и якорь магнитопровода вместе со стержнем аварийной защиты под действием собственного веса и под действием ускоряющей пружины также более ускоренно перемещается вниз и также более быстро предотвращает цепную реакцию. Таким образом, достигается заявленный технический результат - увеличение надежности работы АЭС.

Предлагаемое устройство защиты ядерного реактора на быстрых нейтронах АЭС, приведенное на фиг.1, 2, 3 и 4, содержит стержень аварийной защиты 1, механизм горизонтального и вертикального перемещения с системой управления 2, направляющие элементы в виде посадочного гнезда 3 для стержня аварийной защиты 1 (остальные элементы известных традиционных защит ядерных реакторов и АЭС для упрощения на фиг.1, 2, 3 и 4 не показаны), магнитопровод 4, якорь магнитопровода 5, катушку магнитопровода 6, коммутационный аппарат с приводом 7, источник питания 8, блок управления коммутационным аппаратом 9 и демпферную пружину 10, при этом магнитопровод 4 с катушкой 6 жестко соединен с нижней частью механизма горизонтального и вертикального перемещения 2, якорь магнитопровода 5 жестко соединен с головкой стержня аварийной защиты 1, посадочное гнездо 3 жестко соединено с нижней частью корпуса ядерного реактора, демпферная пружина 10 жестко соединена с дном посадочного гнезда 3, при этом входные выводы катушки 6 магнитопровода 4 с помощью гибкого кабеля подсоединены к выходным выводам коммутационного аппарата 7, входные выводы которого соединены с выходными выводами источника питания 8, а входные выводы привода коммутационного аппарата 7 соединены с выходными выводами блока управления 9 этого аппарата.

Во втором варианте устройства защиты дополнительно введена ускоряющая пружина 11, первый конец которой жестко соединен с магнитопроводом 4.

Устройство защиты работает следующим образом. В исходном состоянии коммутационный аппарат 7 включен, стержень аварийной защиты 1 с якорем 5 притянут к магнитопроводу 4, при этом стержень 1, якорь 5, магнитопровод 4, катушка 6 и механизм перемещения 2 находятся в крайнем нижнем положении, а это означает, что цепная реакция не идет и реактор не выдает мощности. АЭС не функционирует. Это расположение оборудования устройства защиты показано на фиг.1. При запуске АЭС коммутационный аппарат 7 остается включенным, стержень 1 вместе с якорем 5 притянут к магнитопроводу 4, а механизм перемещения 2 поднимает

магнитопровод 4, катушку 6, якорь 5 и стержень 1 в крайнее верхнее положение, как это показано на фиг.2. В этом положении реактор выдает мощность, а стержень аварийной защиты 1 находится в ждущем состоянии. Если при этом требуется оперативная остановка ядерного реактора, коммутационный аппарат 7 остается во включенном состоянии, якорь 5 остается в притянутом к магнитопроводу 4 состоянии, а механизм перемещения 2 опускает стержень 1, якорь 5, магнитопровод 4, катушку 6 в крайнее нижнее положение, которое показано на фиг.1.

Если возникла аварийная ситуация, то устройство защиты может работать по двум путям.

Первый путь. Работают все традиционные датчики аварийных режимов или часть этих датчиков, при этом существующая традиционная система защиты АЭС отключает аварийный режим.

Второй путь. Все традиционные датчики функционируют, но отказал механизм перемещения 2. В этом случае, если в связи с аварийной ситуацией исчезло электроснабжение собственных нужд, исчезает питание катушки 6 электромагнита, исчезает тяговая сила и якорь 5 вместе со стержнем аварийной защиты 1 под действием собственного веса перемещается в крайнее нижнее положение, которое показано на фиг.3, и предотвращает цепную реакцию в реакторе. Если электроснабжение собственных нужд остается, остается питание катушки 6, остается тяговая сила электромагнита, стержень 1 остается в крайнем верхнем положении, как показано на фиг.2. При этом развивается цепная реакция, температура окружающей среды магнитопровода и якоря быстро поднимается до 500°C и выше, магнитопровод 4 и якорь 5 также разогреваются, магнитная проницаемость магнитопровода и якоря резко падает, тяговая сила электромагнита практически исчезает и якорь 5 вместе со стержнем 1 под действием собственного веса также перемещается в крайнее нижнее положение и предотвращает цепную реакцию в реакторе, а следовательно предотвращает и взрыв реактора.

При исполнении устройства защиты по второму варианту все состояния устройства защиты, приведенные на фиг.1, 2, 3, сохраняются, но в ждущем режиме при штатной работе реактора в состоянии устройства защиты, приведенном на фиг.2, появляется дополнение - ускоряющая пружина 11, которая в ждущем режиме находится в сжатом состоянии, как это показано на фиг.4. При нагреве магнитопровода 4 и якоря 5 магнитопровода до 500°C и выше тяговая сила электромагнита также резко уменьшается и якорь 5 магнитопровода 4 вместе со стержнем аварийной защиты 1 под действием собственного веса и под действием ускоряющей пружины 11 более ускоренно перемещается вниз и также более быстро предотвращает цепную реакцию, а следовательно, более быстро предотвращает взрыв реактора.

В заключение необходимо отметить:

1. Известно, что температура различных конструктивных элементов реактора может изменяться от 50 до 550°C, а в аварийных режимах, как отмечено выше, может достигать 800°C. Поэтому необходимо выбирать такой магнитный материал магнитопровода и якоря магнитопровода, чтобы этот магнитный материал обеспечивал нормальную работу, т.е. нормальную тяговую силу электромагнита в номинальном режиме работы реактора и терял свои магнитные свойства, т.е. обеспечивал резкое снижение тяговой силы электромагнита, в аварийной ситуации при резком повышении температуры. Это, как известно, достигается изменением химического состава магнитного материала. Так, например, для железоникелевого сплава при изменении содержания никеля температура Кюри изменяется от 0 до 650°C,

см. Приложение 6, Л.8, стр. 367, рис.17.4. Таким образом, в предложенном устройстве защиты имеется принципиальная возможность выбора оптимального магнитного материала для конкретного ядерного реактора.

2. Как показали исследования в Л.7, стр.319-372 скорость перемещения вниз сборки ПАЗ - пассивной аварийной защиты зависит от конструкции опускаемого устройства, от среды и от скорости движения этой среды, что необходимо учитывать при определении времени перемещения стержня аварийной защиты из крайнего верхнего положения в крайнее нижнее положение.

3. Количество стержней аварийной защиты, судя по технической литературе, выбирается в зависимости от мощности ядерного реактора, чем больше мощность, тем больше стержней.

4. Питание электромагнита в предложенном устройстве защиты может осуществляться постоянным или переменным напряжением, а также может использоваться выпрямитель.

5. Для предотвращения не отпадания якоря от магнитопровода при повышении температуры магнитопровода и якоря между магнитопроводом и якорем может быть проложена немагнитная прокладка.

6. Для предотвращения сваривания контактов коммутационного аппарата могут быть применены предохранители в цепи питания электромагнита.

7. Для проведения оперативных работ на электромагните последовательно с коммутационным аппаратом может быть включен разъединитель.

8. В блок управления коммутационным аппаратом может быть заведен сигнал на отключение электромагнита от традиционных систем защиты реактора и АЭС.

9. Для ускорения нагрева магнитопровода и якоря магнитопровода при аварии и повышении температуры реактора могут быть применены конструктивные элементы, аналогичные радиаторам охлаждения, но играющие роль устройств ускоренного нагрева магнитопровода и якоря магнитопровода, при возникновении аварии.

10. Электромагнит, состоящий из магнитопровода, якоря магнитопровода и катушки магнитопровода, а также ускоряющей пружины, может по конструкции отличаться от приведенных на фиг.1, 2, 3, 4, что не изменяет сущности предлагаемого изобретения.

11. Для точного притягивания якоря к магнитопроводу в соответствии с осями этих элементов и фигурами 1, 2, 4 можно применить направляющие элементы.

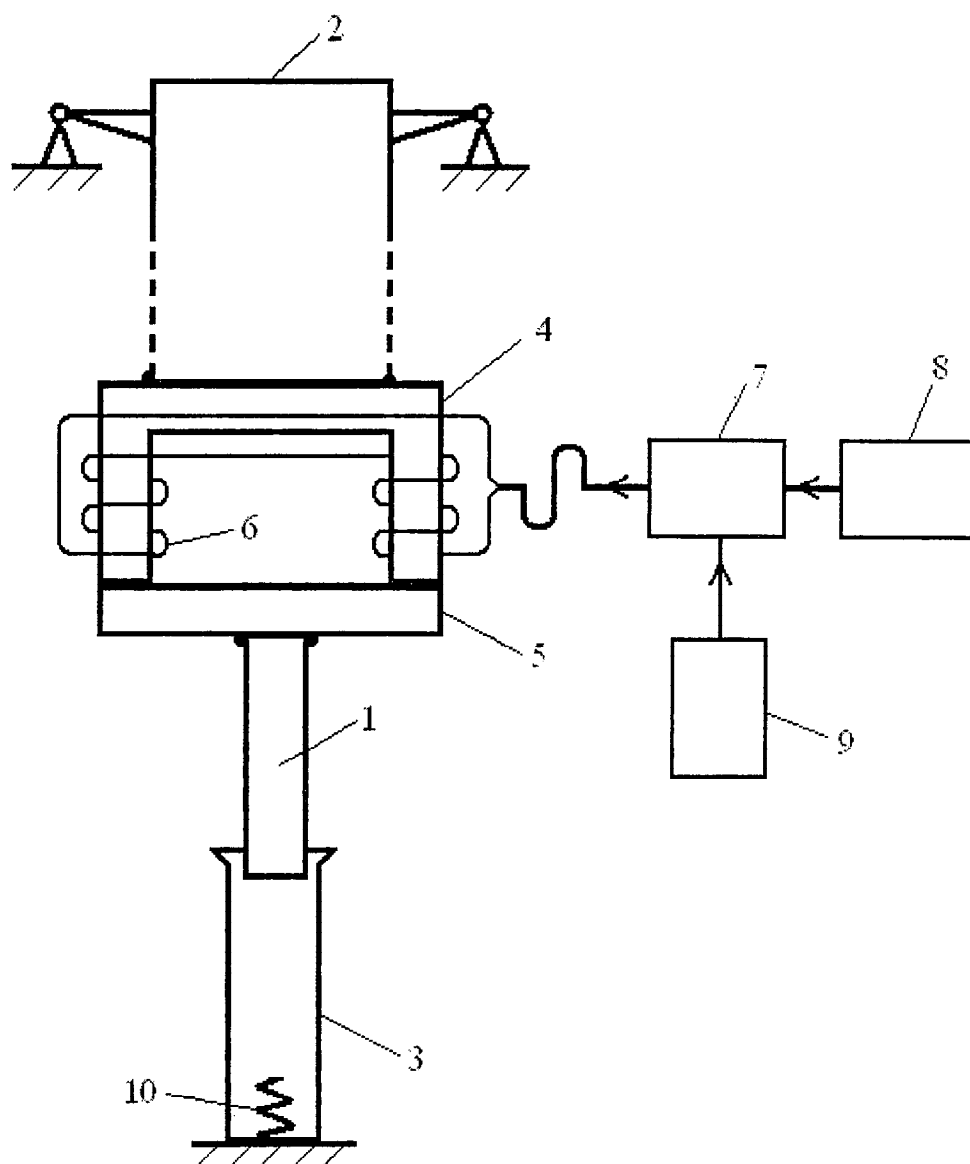
#### Формула изобретения

1. Устройство защиты ядерного реактора на быстрых нейтронах атомной электростанции - АЭС с системой защит, содержащее по крайней мере один стержень аварийной защиты для гашения цепной реакции при авариях различного вида, по крайней мере один механически соединенный с поворотной пробкой крышки корпуса реактора механизм горизонтального и вертикального перемещения стержня аварийной защиты с системой управления, расположенные на дне корпуса реактора направляющие элементы в виде посадочного гнезда для беспрепятственного перемещения вниз стержня аварийной защиты при возникновении аварии, отличающееся тем, что дополнительно введены магнитопровод, якорь магнитопровода, катушка магнитопровода, коммутационный аппарат с приводом, источник питания, блок управления коммутационным аппаратом и демпферная пружина, при этом магнитопровод с катушкой жестко соединен с механизмом горизонтального и вертикального перемещения стержня аварийной защиты, якорь

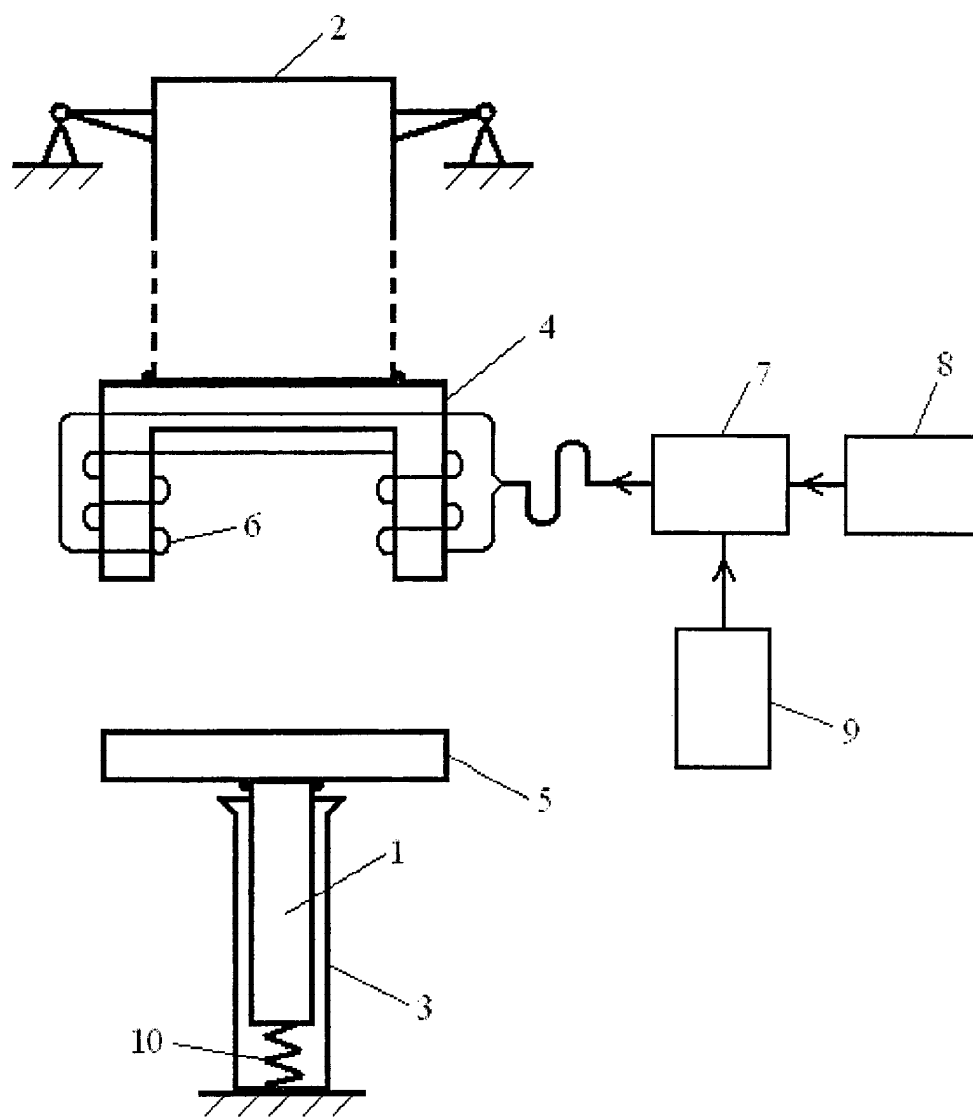


магнитопровода жестко соединен с головкой стержня аварийной защиты, входные выводы катушки магнитопровода с помощью гибкого кабеля подсоединены к выходным выводам коммутационного аппарата, входные выводы которого подсоединены к выходным выводам источника питания, при этом входные выводы привода коммутационного аппарата соединены с выходными выводами блока управления коммутационным аппаратом, при этом демпферная пружина жестко соединена с дном посадочного гнезда, причем магнитопровод и якорь выполнены из магнитного материала с регулируемой температурой Кюри.

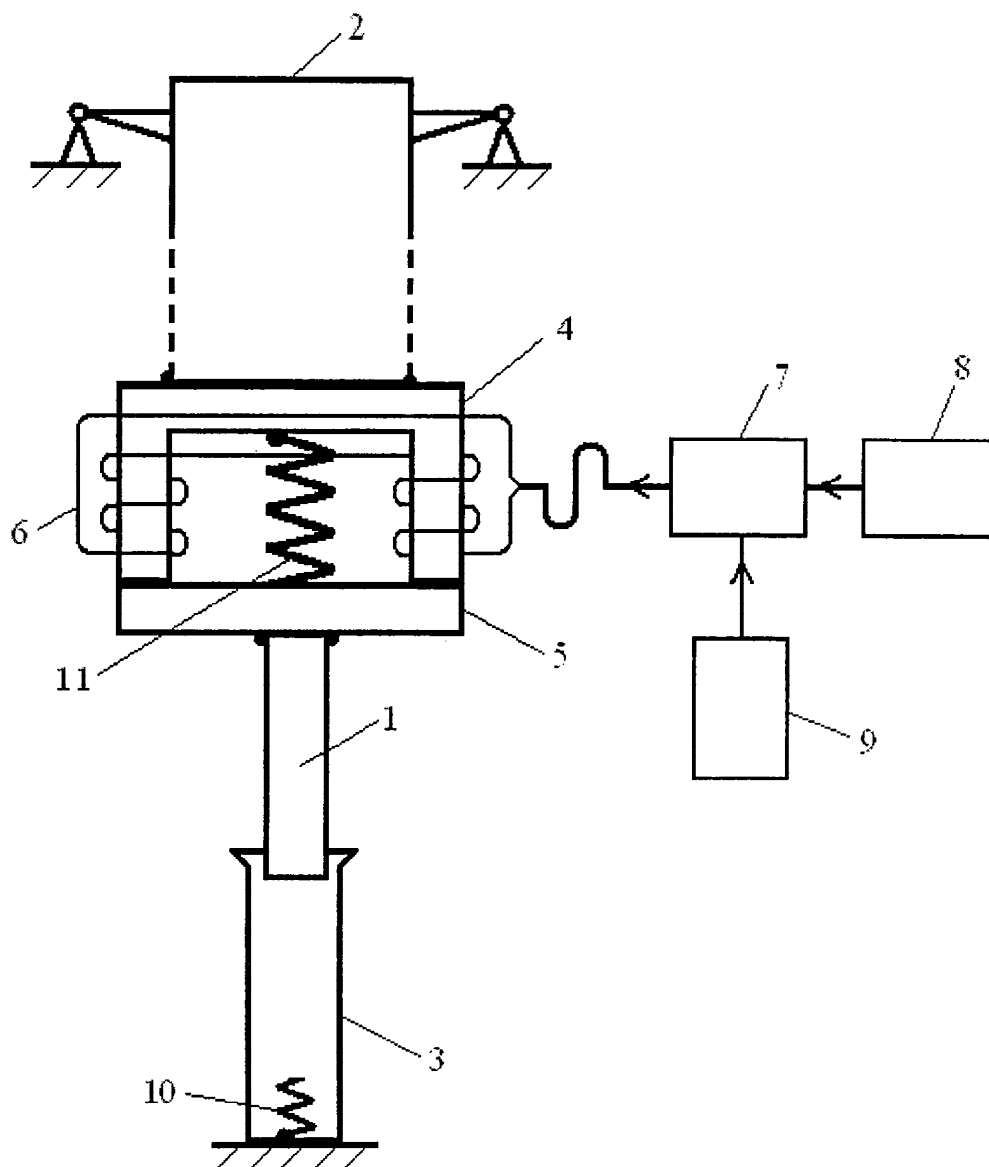
2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что дополнительно введена пружина, установленная с упором между магнитопроводом и якорем, причем верхний конец пружины жестко соединен с магнитопроводом.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4